

改訂前	改訂後
第 1 5 編 魚 礁 第 2 章 沈設魚礁 2.3 沈設魚礁の性能照査の基本 2.3.2 構造型式の設定 沈設魚礁には、一般に複数の魚礁単体を群として形成される。魚礁単体には型枠を用いてコンクリート一体打ちで製作されるコンクリート製（正確には鉄筋コンクリート製であるが、本書においては単にコンクリート製という。）魚礁、それらを接合した組立魚礁、鋼製部材からなる鋼製魚礁、及び複数の材料から構成されるハイブリッド魚礁がある。 高さが 20m を超える大型の魚礁は、一般に高層魚礁と呼ばれている。高層魚礁は主に鋼材で構成されるが、構造の一部に小型のコンクリートブロックやコンクリート製魚礁を部材として組み入れているハイブリッド形式のものもある。 また、魚礁単体の設置方法には、魚礁単体を一定の間隔で面的に配置する方法と複数の魚礁単体を一つの塊又は山積みに設置する方法がある。後者の方法では、魚礁単体としての照査に加えて、必要に応じて設置形状を考慮した照査を行うのが望ましい。 2.3.3 設計条件 (1) 設計状況と作用 沈設魚礁の安全性の性能照査に用いる設計条件は、施工方法、設置場所の水理特性、海底の物理条件及び漁業に応じた適切なものを設定することを原則とする。主な設計条件としては、設置時の着底速度、波、流れ、海底の傾斜、底質を扱い、その他については必要に応じて検討することを原則とする。 沈設魚礁の施工では、吊り上げ時の荷重と設置時の着底衝撃力が考慮すべき重要な作用となる。部材の安全性の照査では、それらを主要な作用として、構造耐力上の安全性を検討することを原則とする。着底衝撃力を算定するためには、着底速度を適切に設定することを原則とする。 構造物全体の安全性の照査では、流体力、重力、浮力及び魚礁が海底から受ける摩擦力を主な作用として、沈設魚礁の安定性を検討することを原則とする。沈設魚礁は、海底に設置し、自重のみでその安定性を確保するもので、海底の傾斜、摩擦係数、底質などの海底の物理条件も重要な設計条件となる。底質には、海底の凹凸、地盤反力、底質移動などの条件が含まれる。 高層魚礁については、その特殊性（高い礁高、大礁体、大重量、低部材強度）を考慮して、特に以下を検討することを原則とする。 i) 適切な施工と性能照査を行うため、事前に深浅測量を行い、設置範囲の海底勾配と平坦性を確認するとともに、海底の目視確認等により地盤反力係数を適切に設定すること。 ii) 設置時の着底速度には、調達可能なクレーン船で魚礁を安全に設置できる値を用いること。 iii) 台風の通過が予測される地域や時期において、ヤード上で組立作業が想定される場合は、施工段階に応じて風荷重に対する安定性を検討するとともに、完成後の仮置時においても検討を行い、転倒の危険性がある場合は、対策を講じること。風荷重の算定に用いる風速としては、その地域のその季節に想定される最大風速を用いることが望ましいが、観測記	第 1 5 編 魚 礁 第 2 章 沈設魚礁 2.3 沈設魚礁の性能照査の基本 2.3.2 構造型式の設定 沈設魚礁は、一般に複数の魚礁単体を群として形成される。魚礁単体には型枠を用いてコンクリート一体打ちで製作されるコンクリート製（正確には鉄筋コンクリート製であるが、本書においては単にコンクリート製という。）魚礁、それらを接合した組立魚礁、鋼製部材からなる鋼製魚礁、及び複数の材料から構成されるハイブリッド魚礁がある。 高さが 20m を超える大型の魚礁は、一般に高層魚礁と呼ばれている。高層魚礁は主に鋼材で構成されるが、構造の一部に小型のコンクリートブロックやコンクリート製魚礁を部材として組み入れているハイブリッド形式のものもある。 また、魚礁単体の設置方法には、魚礁単体を一定の間隔で面的に配置する方法と複数の魚礁単体を一つの塊又は山積みに設置する方法があり、<u>山積みする方法にはさらに層積みと乱積みがある。魚礁を山積みにする場合であっても、魚礁単体の安全性の照査を行うことを標準とするが、乱積みの場合は礁全体の設置形状を対象にした安定性の照査に代えてもよい。</u> 2.3.3 設計条件 (1) 設計状況と作用 沈設魚礁の安全性の性能照査に用いる設計条件は、施工方法、設置場所の水理特性、海底の物理条件及び漁業に応じた適切なものを設定することを原則とする。主な設計条件としては、設置時の着底速度、波、流れ、海底の傾斜、底質を扱い、その他については必要に応じて検討することを原則とする。 沈設魚礁の施工では、吊り上げ時の荷重と設置時の着底衝撃力が考慮すべき重要な作用となる。部材の安全性の照査では、それらを主要な作用として、構造耐力上の安全性を検討することを原則とする。着底衝撃力を算定するためには、着底速度を適切に設定することを原則とする。 構造物全体の安全性の照査では、流体力、重力、浮力及び魚礁が海底から受ける摩擦力を主な作用として、沈設魚礁の安定性を検討することを原則とする。沈設魚礁は、海底に設置し、自重のみでその安定性を確保するもので、海底の傾斜、摩擦係数、底質などの海底の物理条件も重要な設計条件となる。底質には、海底の凹凸、地盤反力、底質移動などの条件が含まれる。 高層魚礁については、その特殊性（高い礁高、大礁体、大重量、低部材強度）を考慮して、特に以下を検討することを原則とする。 i) 適切な施工と性能照査を行うため、事前に深浅測量を行い、設置範囲の海底勾配と平坦性を確認するとともに、海底の目視確認等により地盤反力係数を適切に設定すること。 ii) 設置時の着底速度には、調達可能なクレーン船で魚礁を安全に設置できる値を用いること。 iii) 台風の通過が予測される地域や時期において、ヤード上で組立作業が想定される場合は、施工段階に応じて風荷重に対する安定性を検討するとともに、完成後の仮置時においても検討を行い、転倒の危険性がある場合は、対策を講じること。風荷重の算定に用いる風速としては、その地域のその季節に想定される最大風速を用いることが望ましいが、観測記

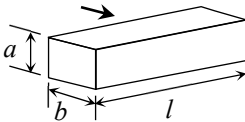
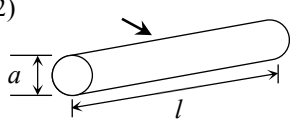
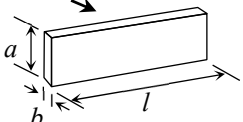
改訂前	改訂後
録等の資料がない場合には風速 50m/s 程度を用いてもよい。 鋼材の腐食のように経年的に重量が減少し、安定性に影響する場合は、その影響も考慮することを原則とする。 流体力は、主に波による短周期の振動流（波動流）と定常的な流れによる力である。流れには鉛直成分と水平成分があるが、沈設魚礁の照査では、流速の垂直成分は水平成分に対して相対的に小さく、実用上無視することができる。沈設魚礁の設計条件としては、再現期間における極大流体力を発生する暴風時等における波と流れで検討することを原則とする。この波・流れの条件は波と流れの結合確率から決定することが望ましいが、信頼できる結合確率が得られない場合は、安全側の設計として波動流と流れの再現期間における極大流速を別々に求めて、それらの合成流速ベクトルを求めてもよい。波の設計条件については、「第2編第3章 波」を参照することができる。流れの設計条件については、「第2編第6章 流れ」及び本項「(2) 流れによる設計流速」を参照することができる。 設置場所が浅海域にある場合は、波動流速が潮位によっても有意に変化するため、設計条件として潮位も考慮しなければならない。潮位については、「第2編第2章 潮位」を参照することができる。 漁具により沈設魚礁がけん引される恐れがある場合は、必要に応じてそのけん引力を作用として検討することが望ましい。 摩擦力は、水中重量の海底面に垂直な成分と静止摩擦係数との積によって算定することを原則とする。 (2) 流れによる設計流速 流れは、潮流（潮汐流）、吹送流及び海流などから成る。一般に、水深の浅い沿岸域では海流は相対的に小さくなり、逆に水深の深い沖合域では潮流が相対的に小さくなるが、場所によっては両者とも重要になることもある。吹送流は風が海面に及ぼす応力によって発生する流れであり、底層ではその影響は顕著でないので、一般には無視されているが、強風が長時間、一方向に吹く場合に発達する可能性がある。また、海域によっては気象擾乱に伴う長周期波や急潮と呼ばれる強い流れが突発的に発生することもある。これらの流れは、海域特有のものであり、必要に応じて考慮することを原則とする。 照査に用いる流れの流向と流速は、潮流、海流及び吹送流などの各種の流れの成分の合成ベクトルとして求めることができる。潮流、海流及び吹送流については、「第2編第6章 流れ」を参照することができる。流れは、時間的にも空間的にも複雑に変化する可能性があるため、長期間の流速観測又は信頼できる流れの数値シミュレーションに基づき適切に定めることが望ましいが、実績のある簡便な方法として以下を用いてもよい。 $U_c(z_R) = U_R \sqrt{\cos\theta + 1.5} \dots\dots\dots \text{(式 15-2-1)}$ $U_c(z) = U_c(z_R) \left(\frac{z}{z_R} \right)^{1/7} \dots\dots\dots \text{(式 15-2-2)}$ ここに、	録等の資料がない場合には風速 50m/s 程度を用いてもよい。 鋼材の腐食のように経年的に重量が減少し、安定性に影響する場合は、その影響も考慮することを原則とする。 流体力は、主に波による短周期の振動流（波動流）と定常的な流れによる力である。流れには鉛直成分と水平成分があるが、沈設魚礁の照査では、流速の<u>鉛</u>直成分は水平成分に対して相対的に小さく、実用上無視することができる。沈設魚礁の設計条件としては、再現期間における極大流体力を発生する暴風時等における波と流れで検討することを原則とする。この波・流れの条件は波と流れの結合確率から決定することが望ましいが、信頼できる結合確率が得られない場合は、安全側の設計として波動流と流れの再現期間における極大流速を別々に求めて、それらの<u>交差角を考慮した</u>合成流速ベクトル<u>としても</u>よい。波の設計条件については、「第2編第3章 波」を参照することができる。流れの設計条件については、「第2編第6章 流れ」及び本項「(2) 流れによる設計流速」を参照することができる。 設置場所が浅海域にある場合は、波動流速が潮位によっても有意に変化するため、設計条件として潮位も考慮しなければならない。潮位については、「第2編第2章 潮位」を参照することができる。 漁具により沈設魚礁がけん引される恐れがある場合は、必要に応じてそのけん引力を作用として検討することが望ましい。 摩擦力は、水中重量の海底面に垂直な成分と静止摩擦係数との積によって算定することを原則とする。 (2) 流れによる設計流速 流れは、潮流（潮汐流）、吹送流及び海流などから成る。一般に、水深の浅い沿岸域では海流は相対的に小さくなり、逆に水深の深い沖合域では潮流が相対的に小さくなるが、場所によっては両者とも重要になることもある。吹送流は風が海面に及ぼす応力によって発生する流れであり、底層ではその影響は顕著でないので、一般には無視されているが、強風が長時間、一方向に吹く場合に発達する可能性がある。また、海域によっては気象擾乱に伴う長周期波や急潮と呼ばれる強い流れが突発的に発生することもある。これらの流れは、海域特有のものであり、必要に応じて考慮することを原則とする。 照査に用いる流れの流向と流速は、潮流、海流及び吹送流などの各種の流れの成分の合成ベクトルとして求めることができる。潮流、海流及び吹送流については、「第2編第6章 流れ」を参照することができる。流れは、時間的にも空間的にも複雑に変化する可能性があるため、長期間の流速観測又は信頼できる流れの数値シミュレーションに基づき適切に定めることが望ましいが、<u>以下の簡便な方法を用いて定めてもよい。</u> <u>i) 底層又は潮流が卓越する浅海域において、流速の鉛直変化に関する信頼できる観測値が得られていない場合は、式 15-2-1 を用いてもよい。</u> $U_c(z) = U_c(z_R) \left(\frac{z}{z_R} \right)^{1/7} \dots\dots\dots \text{(式 15-2-1)}$ ここに、 $U_c(z)$：海底からの高さ z (m)における<u>流れの速度</u> (m/s)

改訂前	改訂後
$U_c(z)$: 海底からの高さ z (m)における設計流速 (m/s) U_R : 沈設魚礁の設置場所の海底から高さ z_R における参照流速。参照流速は海図又は潮汐表の表面流速、あるいは 14 日間以上の長期間の流速観測値から潮流の調和解析により推定される最大流速であり、z_R は前者の場合はその場所での水深、後者の場合は流速測定点の高さとなる。 θ : 波と流れの交差角（信頼できる値が得られない場合又は波のない場合は $\theta=0^\circ$ とする） 2.4 沈設魚礁の性能照査 2.4.2 安全性に関する性能照査 (1) 部材の安全性の照査 (略) ① 沈設魚礁の基本検討事項 a) (略) b) 海底設置時の着底衝撃力に対する安全性の検討 沈設魚礁を海底に設置する際に発生する着底衝撃力は、図 15-2-2 の手順にしたがって、自重の k 倍の静的荷重として算定することができる。ここで、付加質量係数 (C_{MA}) と抗力係数 (C_D) は、信頼できる模型実験に基づく値を使用することが望ましいが、表 15-2-1 を参考に決定してもよい。	<u>$U_c(z_R)$: 沈設魚礁の設置場所の海底から高さ z_R における参照流速。潮流が卓越する海域で潮流速度を参照流速とする場合は、海図又は潮汐表の表面流速、あるいは 14 日間以上の長期間の流速観測値から潮流の調和解析により求められる最大流速の予測値であり、z_R は前者の場合はその場所での水深、後者の場合は流速測定点の高さとなる。</u> <u>ii) 波浪が弱く、潮流が卓越する内海、内湾等の海域で、潮流速度（照査に用いる高さでの値）が後述する式 15-2-13 で算定される波動流速 U_a の 5.7 倍より大きい場合は、その潮流速度（照査に用いる高さでの値）に割増係数 1.58²⁾ を乗じた値を流れの設計速度 U_c として、式 15-2-18c を適用できる流れ単独の場とみなしてもよい。</u> <u>iii) 流れとしては潮流が卓越し、波浪も影響する海域で、外力として潮流と波動流を同時に考慮する場合は、式 15-2-20 で照査に用いる波との同時発生確率を考慮するため、流れの設計速度 U_c には潮流速度（照査に用いる高さでの値）をそのまま用いてもよい。</u> 2.4 沈設魚礁の性能照査 2.4.2 安全性に関する性能照査 (1) 部材の安全性の照査 (略) ① 沈設魚礁の基本検討事項 a) (略) b) 海底設置時の着底衝撃力に対する安全性の検討 沈設魚礁を海底に設置する際に発生する着底衝撃力は、図 15-2-2 の手順にしたがって、自重の k 倍の静的荷重として算定することができる。ここで、付加質量係数 (C_{MA}) と抗力係数 (C_D) は、信頼できる模型実験に基づく値を使用することが望ましいが、表 15-2-1 を参考に決定してもよい。

改訂前	改訂後
A、V、σ_Gの設定 着底速度 v : 実際のクレーンでの吊り下げ速度又は最大値 0.8m/s に設定 $L = \frac{gK}{3w_0V}, M = g\left(\frac{\sigma_G}{w_0} - 1\right) - \frac{C_D A}{4V} v^2$ $N = \left(\frac{\sigma_G}{w_0} + C_{MA}\right) \frac{v^2}{2}$ $L\varepsilon^3 - M\varepsilon - N = 0$ $\varepsilon_1 = \sqrt[3]{N/L} \text{または} \sqrt{M/L}$ $\varepsilon_{n+1} = \varepsilon_n - \frac{L\varepsilon_n^3 - M\varepsilon_n - N}{3L\varepsilon_n^2 - M}$ $\varepsilon_{n+1} = \varepsilon_n$ YES NO $\hat{\sigma}_G = \frac{R}{V} = \frac{K}{V} \varepsilon^2, k = \frac{\hat{\sigma}_G}{\sigma_G} \text{の算出}$ σ_Gを k 倍した重量として衝撃力を算出 部材の構造計算	A、V、σ_Gの設定 着底速度 v : 実際のクレーンでの吊り下げ速度又は最大値 0.8m/s に設定 $L = \frac{gK}{3w_0V}, M = g\left(\frac{\sigma_G}{w_0} - 1\right) - \frac{C_D A}{4V} v^2$ $N = \left(\frac{\sigma_G}{w_0} + C_{MA}\right) \frac{v^2}{2}$ $L\varepsilon^3 - M\varepsilon - N = 0$ $\varepsilon_1 = \sqrt[3]{N/L} \text{または} \sqrt{M/L}$ $\varepsilon_{n+1} = \varepsilon_n - \frac{L\varepsilon_n^3 - M\varepsilon_n - N}{3L\varepsilon_n^2 - M}$ $\varepsilon_{n+1} = \varepsilon_n$ YES NO $\hat{\sigma}_G = \frac{R}{V} = \frac{K}{V} \varepsilon^2, k = \frac{\hat{\sigma}_G}{\sigma_G} \text{の算出}$ σ_Gを k 倍した重量として衝撃力を算出 部材の構造計算
ここに、 V : 魚礁の実容積 (m³) g : 重力加速度 (m/s²) A : 海底面に対する全射影面積 (m²) ε : 変位量 (m) σ_G : 部材の単位体積重量 (kN/m³) R : 地盤反力 (kN) w₀ : 海水の単位体積重量 (kN/m³) K : 地盤反力係数 (kN/m²) σ̂_G : 着底衝撃力による静荷重に換算した単体体積重量 (kN/m³)	ここに、 V : 魚礁の実容積 (m³) g : 重力加速度 (m/s²) A : 海底面に対する全射影面積 (m²) ε : 変位量 (m) σ_G : 部材の単位体積重量 (kN/m³) R : 地盤反力 (kN) w₀ : 海水の単位体積重量 (kN/m³) K : 地盤反力係数 (kN/m²) σ̂_G : 着底衝撃力による静荷重に換算した単体体積重量 (kN/m³)
図 15-2-2 着底衝撃力の算定手順 ²⁾³⁾	図 15-2-2 着底衝撃力の算定手順 ³⁾⁴⁾

改訂後

表 15-2-1 着底衝撃力の算定に用いる付加質量係数 (C_{MA}) と抗力係数 (C_D) の参考値

部材形状	1) 							2) 							3) 						
l/a	1	2	4	5	10	20	∞	1	2	5	10	20	$40 \leq$	1	2	4	5	10	20	∞	
C_D	1.05	1.08	1.13	1.14	1.25	1.50	2.0	0.63	0.68	0.74	0.82	0.90	1.0	1.12	1.15	1.19	1.20	1.29	1.50	2.0	
C_{MA}	1.0							1.0							1.0						
射影面積	al							al							al						
基準體積	abl							$\frac{\pi a^2 l}{4}$							$\frac{\pi a^2 l}{4}$						

注) 板材 3)を含む場合には、基準体積と実体積が異なるため、次式により換算した C_{MA} を用いる。

$$\overline{C}_{MA} = C_{MA} \left(1 + \frac{V' - V_1}{V} \right)$$

C_{MA} : 換算付加質量係数、 V' : 板材の基準体積の合計、
 V : 板材以外の部材も含めた魚礁の全実体積、 V_1 : 板材の実体積

沈設魚礁単体は、一般に海底までクレーンによって吊り下げて設置される。その際の設計条件としての着底速度は、現地での施工計画及び施工機材を考慮して決定することが望ましいが、最大 0.8m/s としてもよい。また、地盤反力係数は、底質が砂泥~砂礫の場合は 30,000~50,000kN/m²を用い、岩の場合は、事前調査等により適切な値を設定することが望ましいが、既往の実験⁵⁾を参考にしてもよい。

沈設魚礁の部材の安全性の照査は、魚礁単体の吊り上げ方法、海底地盤の凹凸・傾斜、設置時の波・流れなどを考慮して、海底面に着底する姿勢を想定し、線形弾性モデルに基づく骨組解析プログラムなどを用いて計算することが望ましい。この場合、着底姿勢に応じて、吊りワイヤーへ荷重を分散させてよい。なお、1.5m 又は 2.0m 角の角型魚礁については、面着（地盤との設置角度 $\theta = 0^\circ$ ）と稜着（ $\theta = 45^\circ$ ）の両方の場合（図 15-2・3）を想定して検討を行うことが望ましい。

改訂前	改訂後
＜面着＞ ＜稜着＞ 図 15-2-3 設置時のイメージ 小型の魚礁単体を積み上げて設置する場合は、着底衝撃力による破損が発生しないような設置形状を設定し、着底速度の制御が可能な状態で施工することが望ましい。 ② （略） ③ 鋼製魚礁単体の部材の安全性の照査 鋼製魚礁単体は、魚礁単体の構造をモデル化し、想定される荷重条件に対して照査を行うのがよい。照査は、信頼できる構造計算プログラムを用いて行うことが望ましい。この場合、使用プログラム名、入力条件、荷重分布、作用する曲げモーメント、軸力及びせん断力を確認するものとする。 部材は、以下の手順で決定することを標準とする。 i) 部材に働く曲げモーメント、軸力、せん断力で部材断面を決定する。 ii) 圧縮力が働く部材は、座屈の有無を検討し、部材長さ、部材断面の妥当性を調べる。 iii) 部材接合部やブロックの強度の向上、転置・仮置・組立時の形状保持のため、目板やブレースを適宜配置する。 iv) 波などによる繰り返し荷重が、部材の許容応力度に占める割合が高い場合は、疲労による強度の低下や破壊の有無について検討する。 v) 機能部材としての遮蔽版や水平版も、魚礁全体の強度や経済性の向上につながる場合は、構造材として積極的に利用する。 vi) 吊り上げ時及び設置時における構造耐力上の安全性の検討は、腐食代を含んだ部材の製作初期断面で行う。設置後の流体力に対する安全性の検討は、設計供用期間経過後の腐食代を含まない断面で行う。 （新設） a) 鋼製部材の許容応力度 鋼製部材についての許容応力度は、「第3編第2章 鋼材」の「表 3-2-2 構造用鋼材の許容	＜面着＞ ＜稜着＞ 図 15-2-3 設置時のイメージ 小型の魚礁単体を積み上げて設置する場合は、着底衝撃力による破損が発生しないような設置形状を設定し、着底速度の制御が可能な状態で施工することが望ましい。 ② （略） ③ 鋼製魚礁単体の部材の安全性の照査 鋼製魚礁単体は、魚礁単体の構造をモデル化し、想定される荷重条件に対して照査を行うのがよい。照査は、信頼できる構造計算プログラムを用いて行うことが望ましい。この場合、使用プログラム名、入力条件、荷重分布、作用する曲げモーメント、軸力及びせん断力を確認するものとする。 部材は、以下の手順で決定することを標準とする。 i) 部材に働く曲げモーメント、軸力、せん断力で部材断面を決定する。 ii) 圧縮力が働く部材は、座屈の有無を検討し、部材長さ、部材断面の妥当性を調べる。 iii) 部材接合部やブロックの強度の向上、転置・仮置・組立時の形状保持のため、目板やブレースを適宜配置する。 iv) <u>機能部材としての遮蔽版や水平版も、魚礁全体の強度や経済性の向上につながる場合は、構造材として積極的に利用する。</u> v) <u>吊り上げ時及び設置時における構造耐力上の安全性の検討は、腐食代を含んだ部材の製作初期断面で行う。</u> vi) <u>設置後の流体力に対する安全性の検討は、設計供用期間経過後の腐食代を含まない断面で行う。</u> vii) <u>波などによる繰り返し荷重が、部材の許容応力度に占める割合が高い場合は、疲労による強度の低下や破壊の有無について検討する。</u> a) 鋼製部材の許容応力度 鋼製部材についての許容応力度は、「第3編第2章 鋼材」の「表 3-2-2 構造用鋼材の許容

改訂前	改訂後
応力度」を参照し、吊り上げ時及び着底時においては、作用を短期荷重として取り扱い、表の 2 倍の値を用い、設置後においては、部材に働く流体力を長期荷重として取り扱い、表中の値をそのまま用いてもよい。 b) ～e) (略) ④・⑤ (略) (2) 構造物全体の安全性の照査 構造物全体の安全性の照査においては、流体力による沈設魚礁の滑動又は転倒に対する安定性を検討することを原則とする。	応力度」を参照し、吊り上げ時<u>の応力、設置時の着底衝撃力及び設置後の流体力は</u>短期荷重として取り扱い、表の 2 倍の値を用いてもよい。 b) ～e) (略) ④・⑤ (略) (2) 構造物全体の安全性の照査 構造物全体の安全性の照査<u>では、沈設魚礁の設置後の波・流れによる流体力の作用に対し、移動や揺動によりその機能が損なわれることのないよう、魚礁単体の滑動又は転倒に対する安定性を検討することを原則とするが、図 15-2-4 の設置条件の違いにより照査条件を緩和することができる。また、設置する海底の底質や流動環境によっては、魚礁が沈下、埋没し、その機能が失われるおそれがあるため、事前調査により洗掘や埋没の可能性の少ない場所を選定したり、魚礁の接地面積を大きくしたり、事前に埋没深さを予想して脚部を設けるなどの対策を行うことが望ましい。</u> 注 1 乱積み魚礁では、様々な方向を向いた魚礁単体が互いにかみ合うことにより安定性が増加する可能性がある。その場合の安定性は礁全体の形状維持の観点から評価し、次式で定義される見かけの摩擦係数 γ を用いた、魚礁単体の滑動安全率のみから検討してもよい。 $\gamma = F_{\max}/W_s$ ここに、W_sは魚礁の水中重量(kN)、$F_{\max}$は許容変形（礁高の変化率 10%以下）の波浪条件下仮想的に設置された魚礁単体に働く最大流体力の計算値(kN)で、水理模型実験、又は変形が許容値以下の既設魚礁が受けた最大波から推算することができる。 注 2 積み重ねて設置された魚礁は、わずかな移動でも落下により礁の高さが減少し、機能低下につながるため、滑動に対する安定性も検討する。 注 3 ここでの砂礫底は細礫より細かい底質粒径に覆われた海底を指し、岩盤や巨礫が所々露出する砂混じりの海底は岩盤または捨石として含めない。 注 4 砂礫底上では礁の機能低下につながる移動は転倒により生じるため、滑動に対する安全率は考慮しなくてもよい。

改訂前	改訂後
① 滑動に対する検討 沈設魚礁の滑動に対する安定性は、式 15-2-3 により検討するのを標準とする。 $\frac{\mu W}{F} \geq F_s \quad \text{..... (式 15-2-3)}$ ここに、 W: 沈設魚礁の水中重量 (kN) F : 沈設魚礁に作用する波・流れによる流体力 (kN) μ: 魚礁と地盤との摩擦係数で、海底が平坦な砂礫の場合には 0.6 を用い、その他の場合の摩擦係数は、「第 3 編 5.1 静止摩擦係数」を参考とし、設置状況に対して適切な値を使用する。なお、脚部に爪、形鋼を設置するなどして、摩擦力の増加を図った魚礁の場合は、信頼できる実験結果に基づく摩擦係数を使用することができるが、最大 1.0 までとする。 F_s : 安全率 (1.2)	図 15-2-4 設置条件の違いを考慮した安定性の照査の緩和 ① 滑動及び転倒に対する安定性の検討 海底付近の構造物では、流速の鉛直成分は水平成分に対して相対的に小さく、水平流速のみで流体力を算定することができるが、水平方向の流速であっても水平流体力だけでなく、鉛直方向の力である揚力が生じる。揚力は、沈設魚礁のように流れに対する遮蔽性の低い構造物では一般に無視することができるが、面積の大きい水平遮蔽面又は傾斜した遮蔽面を有する構造物や海底面との間に隙間のない不透過構造物では問題になることがあることに留意して、必要に応じて検討する。滑動又は転倒に対する安定性の検討では、高さ方向の流速変化及び構成部材の配置や単位体積重量の違いに伴う作用力の変化や沈設魚礁を設置する海底面の傾斜の影響も適切に考慮する必要がある。海底面の傾斜の影響は、乱積み設置の魚礁の場合は考慮できないが、それ以外の魚礁については、流体力の作用方向、傾斜方向、及び沈設魚礁の設置方向を特定できる特殊な場合を除き、水平流体力が海底面の傾斜方向に作用する、最も危険な条件を想定して検討することを標準とする。以上の影響を考慮した安定性の照査方法として、図 15-2-5 に基づき作用力を底面に垂直な成分と平行な成分に分解し、滑動又は転倒に対する安定性をそれぞれ式 15-2-2 又は式 15-2-3 を用いて検討することを標準とする。 図 15-2-5 設置面の傾斜の影響を考慮した作用力の分解方法 $SF_s = \frac{\mu R}{P} \geq 1.2$ (式 15-2-2) $SF_o = \frac{M_r}{M_o} \geq 1.2$ (式 15-2-3) $R = W_s \cos \beta - F \sin \beta$ (式 15-2-4) $P = F \cos \beta + W_s \sin \beta$ (式 15-2-5) $M_r = (W_s \cos \beta - F \sin \beta) \cdot s$ (式 15-2-6) $M_o = F d_F \cos \beta + W_s d_w \sin \beta$ (式 15-2-7) ここに、 SF_s: 滑動安全率 SF_o: 転倒安全率

改訂前	改訂後
	<u>μ：魚礁とその接地面との静止摩擦係数（「第3編 5.1 静止摩擦係数」を参照し、設置状況に応じて適切な値を用いる）</u> <u>R：魚礁全体に作用する合力の底面に垂直な成分（kN）</u> <u>P：魚礁全体に作用する合力の底面に平行な成分（kN）</u> <u>M_r：魚礁全体の抵抗モーメント（kNm）</u> <u>M_o：魚礁全体の転倒モーメント（kNm）</u> <u>W_s：魚礁全体的水中重量（揚力を考慮する場合は水中重量と揚力の差）（kN）</u> <u>β：底面の傾斜角（°）（乱積み魚礁の場合は $\beta=0^\circ$ とする）</u> <u>F：魚礁全体に作用する水平流体力（kN）</u> <u>s：魚礁の高さ方向の中心線が底面と交わる点から魚礁が転倒する際の回転軸までの距離（m）</u> <u>d_F：魚礁全体の水平流体力の作用点から底面までの距離（m）</u> <u>d_W：魚礁全体の水中重量の作用点から底面までの距離（m）</u> <u>魚礁を層区分して波浪下における流体力を算定する場合は、各層での最大流体力に位相差が生じる可能性があるが、Fの設計値は式 15-2-8 により求めることができる。d_Fは、魚礁を高さ方向に層区分して式 15-2-8 で計算することができるが、区分した層内や層区分しない場合での流体力の作用点は流れ方向からの投影面積の図心としてよい。W_sは式 15-2-9 により構成部材の水中重量の和として、また d_Wは式 15-2-11 により構成部材毎の水中重量の重心位置として求めることができるが、揚力を考慮する場合は上方からの投影面積の図心の高さに揚力が作用するものとして計算してよい。</u> $F = \sum_i F_i$ (式 15-2-8) $W_s = \sum_j W_j (1 - w_0 / w_j)$ (式 15-2-9) $d_F = \frac{1}{F} \sum_i F_i d_{F,i}$ (式 15-2-10) $d_W = \frac{1}{W_s} \sum_j W_j (1 - w_0 / w_j) d_{W,j}$ (式 15-2-11) <u>ここに、</u> <u>E_j：魚礁 i 層に作用する水平流体力（kN）</u> <u>W_j：構成部材 j の重量（kN）</u> <u>w_0：海水の単位体積重量（kN/m³）</u> <u>w_j：構成部材 j の単位体積重量（kN/m³）</u> <u>$d_{F,i}$：魚礁 i 層の水平流体力の作用点から底面までの距離（m）</u> <u>$d_{W,j}$：構成部材 j の重心から底面までの距離（m）</u> <u>（削る。）</u>
② 転倒に対する検討 沈設魚礁の転倒に対する安定性は、式 15-2-4 により検討するのを標準とする。 $\frac{W}{F} \frac{l_v}{l_A} \geq F_s$ (式 15-2-4)	

改訂前	改訂後
ここに、 l_A：流れに直角な鉛直面への魚礁の図心までの高さ（m） l_V：魚礁の水中重量の作用点の底面への射影点から最も近い転倒の中心線までの距離（m） F_S：安全率（1.2） 海底が傾斜している場合は、重力、浮力及び流体力を、地盤面に対し垂直方向と接線方向に分解、合成した諸数値を用いて、滑動及び転倒を検討することを原則とする。また、設置する海底の底質や流動環境によっては、魚礁が洗掘、埋没又は沈下し、その機能が失われるおそれがある。このため、洗掘と埋没に対しては、波浪や流れ等の事前調査を行い、影響の少ない水深域に設置し、また沈下に対しては、魚礁の接地面積を大きくするなどの対策を行うのが望ましい。 ③ 流体力の算定 波・流れによる流体力については、魚礁設置海域の条件に応じて以下のいずれかの方法で算定し、砕波の影響を受ける領域と受けない領域を、「第 16 編 2.2.4 藻場礁の安定質量」に準じて区分することを標準とする。流体力の算定に用いる流速は、その鉛直方向の変化を考慮して適切に決定することを標準とする。潮流、海流などの定常流とみなせる流れでは、流向と流速が鉛直方向に複雑に変化する場合があるため、底層付近の任意高さにおける水平流速は、実測等に基づき適切に設定することが望ましいが、実用的には、式 15-2-1 及び式 15-2-2 により推定される流速は、安全側の値として用いることができる。 流速が鉛直方向に変化する場合の魚礁全体に働く流体力は、魚礁を高さ方向に微小な部位に分けて、各部位での流体力を以下に示す方法により算定し、それらの流体力の合計として求めることができるが、実用的には、礁高が水深に対して 1/10 以下の場合は、設計流速を魚礁頂部の流速で代表させて魚礁全体の射影面積を用いて流体力を算定してもよく、またそうでない場合は魚礁全体を構造上の観点から数個の層に分けて、各層の流体力の総和として求めてもよい。各層に分割する場合は、各層の流体力は、対応する層での流速、抗力係数、射影面積等の値を用いて算定することを標準とする。 a) 流れのみを考慮する場合 沈設魚礁に働く流体力は、式 15-2-5 で表される抗力として求めることができる。 $F = \frac{1}{2} \rho C_D A U^2 \dots\dots\dots \text{(式 15-2-5)}$ ここに、 F: 抗力（kN） ρ：海水の密度（t/m³） C_D: 抗力係数 U：水平流速（m/s） A：流れ方向の射影面積（魚礁の構成部材の総和）（m²）	改訂後 ② 流体力の算定 構造物全体の安全性の照査に用いる流体力については、設計条件下で生じる最大流体力 $F_{\max}$ を算定することを原則とする。<u>$F_{\max}$ の算定のためには、波の不規則性と非対称性、波と流れの共存・交差、及び流速の鉛直分布の影響を適切に評価する必要がある。その手法として図 15-2-6 の手順に従い、式 15-2-12～式 15-2-18 を用いて $F_{\max}$ を求めることができる。流速の鉛直分布の影響を考慮するためには、魚礁を高さ方向にいくつかの層に区分して $F_{\max}$ を算定する必要があるが、魚礁の高さと水深との比が 0.3 以下の場合は層分割せずに求めてもよい。</u> 図 15-2-6 最大流体力 $F_{\max}$ の算定手順と最大流速波形、U_a、T_{pp} 及び T_{zp} の定義 注 1 砕波帯内の場合は、「第 2 編 3.2.6 潮位」に加えて、「第 2 編 3.6 波による平均水位の上昇」による変化を考慮することを原則とする。 注 2 砕波の影響を受ける領域では、波動流が支配的であるため、多くの場合流れを無視（$U_c=0$ m/s と仮定）してもよいが、潮流等の影響が無視できない場合は U_c を適切に考慮する。 注 3 設計に用いる波向と流れの向きとの交差角（0～90°）で、不明の場合は $\theta=0^\circ$ とする。

b) 砕波の影響を受けない領域で波を考慮する場合

最大波力 F は、式 15-2-6～式 15-2-10 により算定することができる。

$$u = U_m \sin \theta \quad \dots\dots\dots \text{(式 15-2-6)}$$

$$U_m = \frac{\pi H \cosh(2\pi z / L)}{T \sinh(2\pi h / L)} \quad \dots\dots\dots \text{(式 15-2-7)}$$

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D A U_m^2 \quad \dots\dots\dots \text{(式 15-2-8)}$$

$$F_M = \rho C_M V \frac{2\pi}{T} U_m \quad \dots\dots\dots \text{(式 15-2-9)}$$

$$F = \begin{cases} F_M, & 2F_D < F_M \text{ のとき} \\ F_D + \frac{F_M^2}{4F_D}, & 2F_D \geq F_M \text{ のとき} \end{cases} \quad \dots\dots\dots \text{(式 15-2-10)}$$

ここに、

- u : 高さ z 、位相 θ における波動流速 (m/s)
- C_M : 質量係数 ($C_M = C_{MA} + 1$; C_{MA} は付加質量係数)
- C_D : 抗力係数
- A : 波の進行方向の射影面積 (魚礁の構成部材の総和) (m²)
- V : 実容積 (m³)
- z : 海底からの高さ (m)
- H 、 T 、 L : 設置位置における有義波高 (m)、有義波周期 (s)、波長 (m)

なお、魚礁頂部の水深が $L/2$ より深い場合には、波力は無視してもよい。
波と流れが混在する場合は、式 15-2-11 で表される、位相 θ の関数である F の最大値を求めて照査に用いる流体力とすることができる。

$$F = F_D \left(\sin \theta + \frac{U_c}{U_m} \right)^2 - F_M \cos \theta \quad \dots\dots\dots \text{(式 15-2-11)}$$

ここに、

- U_c : 検討する高さにおける流れの設計流速 (m/s) (本章「2.3.3 設計条件」の「(2) 流れによる設計流速」を参照する)

c) 砕波の影響を受ける領域で波を考慮する場合

砕波の影響を受ける領域に設置される魚礁に作用する波力は、「第 16 編 2.2.4 藻場礁の安定質量」を参照して砕波の影響を受ける領域での波動流速を算定し、式 15-2-12 により求めることができる。

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D A U_m^2 \quad \dots\dots\dots \text{(式 15-2-12)}$$

ここに、 U_m : 砕波の影響を受ける領域での波動流速 (m/s)

砕波の影響を受ける領域であっても、潮流が無視できない場合は、照査に用いる流体力を式 15-2-13 により算定することができる。

a) 参照波高 H_{ref} の算定

波群中で最大流体力が発生する波は、必ずしも最大波高の波ではなく、最大流速波形の波である (図 15-2-6 参照)。最大流速波形の算定のための参照波高 H_{ref} として最大波高を用いるが、その近似値として $1/250$ 最大波高 $H_{1/250}$ を代用してもよい。 $H_{1/250}$ は、砕波の影響を受けない領域では波高分布にレーリー分布を仮定して、また砕波の影響を受ける領域では合田のモデル⁶⁾により、求めることができるが、それらと同等の式 15-2-12 により算定してもよい。

$$H_{\text{ref}} = \begin{cases} 1.8H_{1/3} & : h / H'_0 \geq 4.0 \\ \lambda_0 H_{1/3} & : h / H'_0 < 4.0 \end{cases} \quad \dots\dots\dots \text{(式 15-2-12)}$$

ここに、

- $H_{1/3}$: 設計対象地点での設計波高 (有義波) (m)
- λ_0 : 図 2-4-4 から求められる波高の補正係数
- H'_0 : 換算沖波波高 (m)

b) U_a と T_{pp} の算定

F_{max} の算定に用いる流速振幅 U_a とピーク・ピーク周期 T_{pp} は、図 15-2-6 で定義される最大流速波形の値であり、それぞれ式 15-2-13⁷⁾ と式 15-2-14⁷⁾ により求めることができる。

$$U_a = r U_{\text{Airy}} \quad \dots\dots\dots \text{(式 15-2-13)}$$

$$T_{pp} = \min\{1, 0.515[1 + \exp(-0.00939U_r)]\} \frac{T}{2} \quad \dots\dots\dots \text{(式 15-2-14)}$$

$$r = \left\{ 1 - 0.471 \tanh \left[1.46 \left(\frac{H_{\text{ref}}}{h} \right)^{1.44} \right] \right\} \left(0.947 + 3.77 \frac{H_{1/3}}{L} \right) \quad \dots\dots\dots \text{(式 15-2-15)}$$

$$U_{\text{Airy}} = \frac{\pi H_{\text{ref}} \cosh(2\pi z_A / L)}{T \sinh(2\pi h / L)} \quad \dots\dots\dots \text{(式 15-2-16)}$$

$$U_r = \frac{H_{\text{ref}} L^2}{h^3} \quad \dots\dots\dots \text{(式 15-2-17)}$$

ここに、

- z_A : 海底から対象構造物の図心までの高さ (m)
- $\min\{a, b\}$: a または b のいずれか小さい方の値
- $T = T_{1/3} = T_0$: 設計対象地点における周期 (s)
- L : 設計対象地点における微小振幅波の波長 (m)

c) 最大流体力 F_{max} の算定

波群中での最大流体力 F_{max} は式 15-2-18 により算定することができる。

$$F_{\text{max}} = \begin{cases} \frac{1}{2} \rho C_{F\text{max}} A U_a^2 & : r_u \leq 0.1 \quad \dots\dots\dots \text{(式 15-2-18a)} \\ \frac{1}{2} \rho C_F A V_m^2 & : 0.1 < r_u < 0.9 \quad \dots\dots\dots \text{(式 15-2-18b)} \\ \frac{1}{2} \rho C_{DS} A U_c^2 & : r_u \geq 0.9 \quad \dots\dots\dots \text{(式 15-2-18c)} \end{cases}$$

$$C_F = (1 - \sqrt{r_u}) C_{F\text{max}} + \sqrt{r_u} C_{DS} \quad \dots\dots\dots \text{(式 15-2-19)}$$

改訂前	改訂後
$F = \frac{1}{2} \rho C_D A (U_m^2 + U_c^2) \cdots \cdots \cdots \text{(式 15-2-13)}$ ここに、 U_c：潮流流速（m/s）	$V_m = \sqrt{U_a^2 + U_c^2 + 2U_a U_c \cos \theta} \cdots \cdots \cdots \text{(式 15-2-20)}$ $r_u = \frac{U_c}{U_c + U_a} \cdots \cdots \cdots \text{(式 15-2-21)}$ ここに、 ρ：海水の密度（t/m³） A：次項「流体力係数の決定」により定める魚礁の基準面積（m²） $C_{F\max}$：次項「流体力係数の決定」により $K_C=2V_m T_{pp}/D$ で定義する KC 数の関数として定める魚礁の最大力係数 C_{DS}：次項「流体力係数の決定」により定める定常流中での魚礁の抗力係数 波・流れによる流体力の算定には、従来、流体力を慣性力と抗力の和で表すモリソン式（式 2-6-2）が広く用いられてきた。しかし、モリソン式は流速の時間変化から流体力の時間変化を求める式である。モリソン式により $F_{\max}$ を算定するためには、二つの流体力係数（C_D と C_M）を適切に定めるとともに、流速の時間波形を適切に定めて、それらに基づき流体力の時間変化から $F_{\max}$ を求める必要がある。これに対して、式 15-2-18a は、$F_{\max}$ のみに着目した式である。当式は波単独の場合（$r_u=0$）で $F_{\max}$ を直接求められるだけでなく、非対称性の強い流速波形であっても $F_{\max}$ をモリソン式よりも精度よく算定できることが示されている⁸⁾。さらに波と流れが共存し、交差する条件においては、モリソン式では適用性が低く、流体力を過大評価する問題が指摘されている⁹⁾¹⁰⁾のに対して、式 15-2-18a を波・流れの共存場にも適用できるようにした式 15-2-18b は、交差角や波と流れの流速比の影響を適切に評価できることが示されている¹¹⁾。 d) <u>流体力係数の決定</u> 流体力係数は、流体力を表す数学モデルにおいて物体の形状等の影響を表す無次元係数であり、モデルにより異なる。定常流中の物体に作用する抗力は、流速の 2 乗と流れ方向からの物体の投影面積との積に比例するモデルで表される。C_{DS} はその流体力係数であり、式 15-2-22 で定義される。波動流中での流体力は、流速の 2 乗に比例する抗力と流体の加速度に比例する慣性力の和で表され、時間的に変化する。その流体力の最大値 $F_{\max}$ を算定するための式が式 15-2-18a である。$C_{F\max}$ はその流体力係数で、式 15-2-23 で定義される。C_{DS} は式 2-6-4 で定義されるレイノルズ数 Re の関数であり、$C_{F\max}$ はレイノルズ数と式 15-2-24 で定義されるクーリガン・カーペンター数（KC 数）の関数である。 $C_{DS} = \frac{2F_D}{\rho A U_c^2} \cdots \cdots \cdots \text{(式 15-2-22)}$ $C_{F\max} = \frac{2 F_{\max}}{\rho A U_a^2} \cdots \cdots \cdots \text{(式 15-2-23)}$ $K_C = \frac{2U_a T_{pp}}{D} \cdots \cdots \cdots \text{(式 15-2-24)}$ ここに、 F_D：定常流中の物体に作用する抗力（kN）

改訂前	改訂後
(参考文献) (新設) 2)・3) (略)	<u>ρ：水の密度 (t/m³)</u> <u>A：物体の基準面積 (m²)</u> <u>U_c：定常流の速度 (m/s)</u> <u>$F_{\max}$：波動流または振動流中の物体に作用する最大流体力 (kN)</u> <u>U_g：流速波形のゼロ・アップ・クロス点前後の極小値から極大値までの流速差の 1/2 (m/s)</u> <u>T_{pp}：流速波形のゼロ・アップ・クロス点前後の極小値から極大値までの時間 (s)</u> <u>D：物体の基準幅 (m)</u> <u>魚礁の流体力係数は、以下の事項に留意して適切に決めることを標準とする。</u> <u>i) 魚礁の流体力係数は、魚礁の構成部材の流体力係数とそれに及ぼす部材間の間隔の影響が既知である場合は部材の流体力の合力から推定することができるが、それ以外の場合は魚礁全体の縮尺模型を用いた模型実験により適切に定める必要がある。前者の例として既往文献¹²⁾を参照することができ、また、後者の際には「模型実験による流体力係数の決定の手引き」¹³⁾を参照することができる。</u> <u>ii) Re の増加に伴う C_{DS} の変化は一般に、低 Re 領域では比較的急な低下を示すが、Re がある程度高くなるとほぼ一定の値を示すようになる。縮尺模型実験による検討ではその一定領域の C_{DS} 値を設計に用いる。しかし、Re がさらに増加すると、物体の形状によっては C_{DS} が激減することがある¹⁴⁾¹⁵⁾。このため、実現象のレイノルズ数に近い条件下での C_{DS} 値が得られるよう、できるだけ大縮尺での模型実験を行うことが望ましいが、上記の一定領域の C_{DS} 値は安全側の設計値として用いることができる。</u> <u>iii) C_{DS} と $C_{F\max}$ は A の定義に依存する。A は、一般に流れ方向の魚礁の投影面積で定義するが、魚礁の構成部材の背後に別の部材があり、両部材の流れ方向の間隔が、大きい方の部材幅の 3 倍以上離れている場合は、各部材は流体力学的に独立であるとして、両部材の投影面積の和を用いた方がよい¹¹⁾。波や流れに対する魚礁の設置方向を確定できない場合は、最大の流体力が発生する向きにおける A と流体力係数を用いる。A の定義には、形状が複雑過ぎて合理的な定義が困難な場合もあり、任意性が残るが、いずれの場合であっても縮尺模型と実物の A の定義方法は同一でなければならない。したがって、模型実験による流体力係数を照査に用いる場合は、実物の A の値は(縮尺模型の A)／(模型縮尺率の 2 乗)に等しくなければならない。</u> <u>iv) $C_{F\max}$ は KC 数だけでなく Re の関数であるが、上記 ii) の C_{DS} の場合と同様の理由により、縮尺模型実験による $C_{F\max}$ の実験値は安全側の設計値として用いることができる。</u> <u>v) D の定義については、定められた方法はないが、円柱、角柱、平板、等辺山形鋼などの基本的部材については、文献¹¹⁾の方法に基づき決めるとよい。また、魚礁全体の D を定義する場合は、$C_{DS} \times A$ 又は KC 数が非常に大きいときの $C_{F\max}$ 値と A との積を重みとする構成部材の D の重み付き平均で定義するとよい。</u> (参考文献) <u>2) 中村 充：漁場工学（水産土木）入門，水産の研究 3（1983），pp.81-88</u> <u>3)・4) (略)</u>

改訂前	改訂後
4) 秀島好昭・上北征男：人工魚礁の着底衝撃力に関する研究（Ⅱ），岩盤・コンクリート基盤での着底，水産工学研究所報告 4（1983），pp.59-70 （新設） （新設） （新設） （新設） （新設） （新設） （新設） （新設）	<u>（削る。）</u> 6) <u>合田良実：浅海域における波浪の碎波変形．港湾技術研究所報告 14（1975），pp.59–106</u> 7) <u>S. Kawamata and M. Kobayashi: Empirical formulas for near-bed wave orbital velocity parameters involved in maximum wave load in random wave trains. Ocean Engineering 267 (2023) , 114133, https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114133</u> 8) <u>S. Kawamata and M. Kobayashi: Modified formula for predicting the maximum wave force on seabed objects. Ocean Engineering 266 (2022), 112751, https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112751</u> 9) <u>P. K. Stansby: Experimental study of forces on a cylinder in oscillatory flow with a cross current. Applied Ocean Research 5 (1983), pp.195–203</u> 10) <u>榎田真也・馬替敏治・由比政年・石田 啓：振動流と定常流の斜交共存場における円柱に作用する流体力特性，海岸工学論文集 50 (2003)，pp.731–735</u> 11) <u>川俣 茂・佐伯公康・三上信雄・小林 学・門 安曇・伊藤 靖・廣瀬紀一：沈設魚礁の流体力算定式及び着定基質の安定質量算定式の検討，平成 31 年度水産基盤整備調査委託事業報告書「漁港漁場施設の設計手法の高度化検討調査」（2020），pp.2-1-2-32</u> 12) <u>例えば，川俣 茂・佐伯公康・三上信雄・小林 学・門 安曇・伊藤 靖・廣瀬紀一・丸山草平：沈設魚礁の流体力算定式及び着定基質の安定質量算定式（案）の策定，令和 2 年度水産基盤整備調査委託事業報告書「漁港漁場施設の設計手法の高度化検討調査」（2021），pp.2-1-2-12</u> 13) <u>模型実験による流体力係数の決定の手引き，国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所（2023）</u> 14) <u>機械工学便覧 基礎編 α 4，流体力学，日本機械学会（2006），229p.</u> 15) <u>高木儀昌・明田定満・小泉文夫：角型魚礁の設計法に関する研究（その 2 角型魚礁の抗力係数）．日本水産工学会学術講演会論文集 1（1991），pp.45–46</u>